

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-090708

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl.

G02F 1/1343

G02F 1/1339

(21)Application number : 08-243931

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 17.09.1996

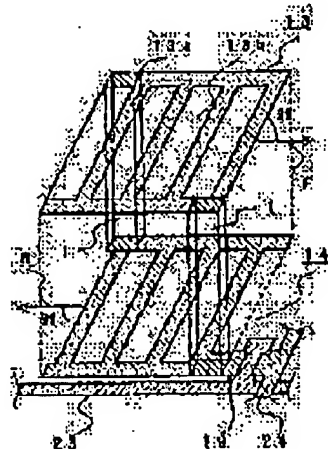
(72)Inventor : SATOU MAKIKO
HISATAKE YUZO
WATANABE RYOICHI

(54) LIQUID CRYSTAL DISPLAY ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a liquid crystal display element bright in brightness, high in contrast and capable of preventing the deterioration of a refraction lens effect and a diffraction grating effect by a spacer by specifying the relation between a counter gap of substrates and a minimum width of a slit of a stripe like electrode and providing columnar spacers so as to hold this counter gap.

SOLUTION: At least one side of a pair of pixel electrode 14 and counter electrode 13 holding a liquid crystal layer therebetween and forming a pixel is provided with an electrode consisting of conductors to be periodically arranged. At this time, the pixel electrode 14 and the counter electrode 13 are provided with the structure that a conductor part 13a and a slit like non-conductor part 13b are arranged in the stripe shape. Then, when the distance between the first, second substrates is defined as D, the minimum width S of the periodically arranged slit like non-conductor part 13b of the pixel electrode 14 and counter electrode 13 is larger than $2D \tan(\pi/9)$, and further, the columnar spacers 1 are formed on the first substrate or the second substrate so as to hold the distance D.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-90708

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

| | | | |
|---------------------------|-------|----------------|-------|
| (51) Int.Cl. ⁴ | 識別記号 | F I | |
| G 0 2 F 1/1343 | | G 0 2 F 1/1343 | |
| 1/1939 | 5 0 0 | 1/1939 | 5 0 0 |

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平8-249931

(22) 出願日 平成8年(1996) 9月17日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 佐藤 摩希子

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 久武 雄三

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 渡辺 良一

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

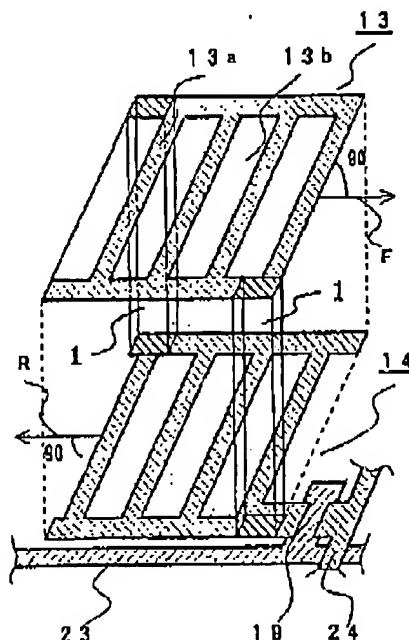
(74) 代理人 弁理士 須山 佐一

(54) 【発明の名称】 液晶表示素子

(57) 【要約】

【課題】 ランダムに配設されるスペーサにより斜め電界の形成が阻害されない、明るくコントラストの高い液晶表示素子を提供する。

【解決手段】 液晶層を挟持する対向基板11またはアレイ基板12の液晶層を挟持する側面に、基板の対向間隔をDとしたとき、最小幅Sが $2D \tan(\pi/9)$ より大きくかつ周期的に配列されたスリットを有する導電体膜からなるストライプ状電極13、14と、前記対向間隔Dを保持するように、かつ、ストライプ状電極による屈折率の異なる微小ドメインの形成を阻害しない位置に形成された柱状スペーサーを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 液晶層と、

第1の基板と、

第1の基板との間に前記液晶層を挟持して複数の図素領域を形成する第2の基板と、

第1または第2の基板の前記図素領域に形成され、第1の基板と第2の基板との対向間隔を ϕ としたとき、最小幅 ϕ が $2\phi \tan(\pi/\theta)$ より大きくかつ周期的に配列されたスリットを有する導電体膜からなるストライプ状電極と、前記対向間隔 ϕ を保持するように、第1の基板または第2の基板に形成された柱状スペーサーとを具備したことを特徴とする液晶表示素子。

【請求項2】 前記スペーサーは光透過性物質からなり、前記ストライプ電極上に形成されたことを特徴とする請求項1に記載の液晶表示素子。

【請求項3】 前記スペーサーは前記ストライプ状電極内の所定位置に周期的に配設されたことを特徴とする請求項1乃至2のいずれかに記載の液晶表示素子。

【請求項4】 前記柱状スペーサーの屈折率は、前記液晶層を構成する液晶組成物の常光屈折率 n_o または異常光屈折率 n_e と実質的に等しいことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の液晶表示素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は液晶表示素子に関し、特に投影型表示に適した液晶表示素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、液晶表示装置やプラズマ発光型表示装置がCRT表示装置にかわる小型で軽量の平面表示装置として注目されている。特に、液晶表示装置は次世代の表示装置の本命として位置付けられており、その技術開発、実用化が様々な分野で進められている。

【0003】 一般的にこれらの平面型表示装置は、表示動作により、表示素子そのものが自ら光を放つ自発光型のもので、独立した光源から入射する光の透過率を表示素子により制御する透過率制御型のもので分類できる。例えばプラズマ発光表示装置は自発光型に属し、液晶表示装置は透過率制御型の表示装置に属する。したがって、透過率制御型の表示装置においては、明るく、コントラストの高い優れた表示品質を得るために、光の透過率の高い表示素子が求められている。

【0004】 表示素子の光の透過率を低下させる要因は様々である。例えばツイステッドネマティック型に代表されるような一般的な液晶パネルは、偏光板を使用して線偏光された光を複屈折性または旋光性を示す液晶層に入射させるものである。しかし、こうした偏光板を用いる液晶表示素子においては、光源から得られる光量が偏光板を通過する際に原理的に1/2以下に低下してしまうという問題がある。

【0005】 最近では、偏光板を必要としない液晶表示素子も開発されている。この液晶表示素子は、液晶材料が高分子樹脂中に含有される高分子分散型あるいは微粒子が液晶材料中に含有される微粒子分散型の液晶層を透明な1対の電極基板間に挟持し、この液晶層に入射した光の空間的な伝搬方向を変調させる散乱型変調素子として機能する。このような液晶表示素子の光源光の利用効率は、偏光板を用いるタイプの液晶表示素子よりも向上する。

【0006】 高分子分散型液晶では、例えば電圧が印加されない電極間の図素領域は入射光線を散乱させる乳白色の光散乱状態に設定され、電圧が印加される電極間の図素領域では入射光線が散乱しにくい透明な光透過状態に設定される。そして、各図素領域における光の散乱特性がその透過光および反射光の強度を映像信号に応じて変化するよう制御され、例えば投影型液晶表示装置では、これら透過光および反射光のいずれか一方が投射光学系によりスクリーンに導かれる。

【0007】 高分子分散型液晶は、そのポリマーの形状やポリマーと液晶層との混合比に制約がある。また外部から印加した電圧は、ポリマーと液晶層との混合比に制約がある。また外部から印加した電圧は、ポリマーと液晶とに分圧されるため、液晶には印加電圧の一部しか印加されないことになる。このため、低い駆動電圧で高い応答速度が要求される駆動特性を満足させようとする、十分な光散乱特性を得られないという問題がある。

【0008】 さらに、これらの方式では光散乱状態と光透過状態とで液晶の分子配列状態が著しく異なるため、電気光学特性にヒステリシスが生じてしまうという問題がある。これに対し、例えばカプセル内面における液晶分子配列を制御するためにポリマーに疎水性の物質を混合する等により、光散乱状態における液晶分子配列をある程度制御し、ヒステリシスを軽減させることも可能であるが、このことは同時に光散乱を弱めてしまうという欠点を有する。

【0009】 このように、従来の液晶表示素子は透過率が低く、視角特性が狭く、高い駆動電圧を要し、また応答速度も遅いといった問題をもっていた。

【0010】 このような問題を解決するために、各国素において実効的に一様な分子配列を形成することにより光透過状態を実現し、また、2種以上の電界方向をもって、屈折レンズ効果や回折格子効果を形成することにより、光散乱状態を実現する方式が提案されている。ここで、屈折レンズ効果とは、液晶層の厚さ方向に液晶分子が連続的に傾きを度えて液晶層の屈折率を連続的に変化させることにより入射した光を屈折させる効果をいう。また、回折格子効果とは、液晶分子の異常光屈折率 n_e と常光屈折率 n_o とが液晶層の平面方向に、規則的に交互に出現することにより、液晶層による回折格子が形成され、その結果平行光が散乱する効果をいう。このよう

な原理に基づく新規な液晶表示素子の提案が特願平6-172935で行われている。また特願平6-298496は前記提案の諸特性をさらに向上させる提案が行われている。

【0011】これらの液晶表示素子は透過光および散乱光のいずれか一方を投射光学系によりスクリーンに導くことにより、投影型液晶表示装置として応用することができる。

【0012】一般にこれらの液晶表示装置に用いられる液晶表示素子は、対向する2枚の透明基板間に、その基板間隔を制御するためのスペーサーを介して重ね合わせ、周辺を封止し、2枚の基板間に配向層と液晶組成物とを挟持した構成となっている。基板間隔を均一に制御することは、液晶層の厚さを均一に制御することであり、均一で良好な表示性能を得るためには必要不可欠なものである。このことは、特願平6-172935、特願平6-298496の液晶表示素子においても同様である。

【0013】従来は基板間隔を均一に制御するために静電散布法などにより基板上に散布されている。しかしながら、基板上のスペーサーの散布密度にむらが生じたり、上下基板を組み合わせる工程や液相組成物を充填する工程においてスペーサーが移動したりして、これらに起因する表示むらが生じしやすくなるという問題がある。また、従来のスペーサーは、液晶表示素子の光の変調部にスペーサーがランダム配置される。このため、特に前述した特願平6-172935、特願平6-298496の液晶表示素子においては、1画素内に複数の異なる方向の電界を形成して光の変調を行う画素部分にもスペーサーがランダムに配設されるために、屈折レンズ効果や回折格子効果が低下してしまうという問題がある。

【0014】図33は、このような構成の液晶表示素子の画素構造を概略的に示す図である。画素領域内にもランダムに配設されるスペーサー90により、画素内に形成されるべき屈折率の異なる複数の微小ドメインが良好に形成されず、画素に入射する光の散乱能が低下する。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】本発明はこのような問題を解決するためになされたものである。すなわち本発明は、スペーサーによる屈折レンズ効果や回折格子効果の低下を防止した、明るくコントラストの高い液晶表示素子を提供することを目的とする。

【0016】また、本発明はスペーサーによる屈折レンズ効果や回折格子効果の低下を防止した、液晶表示素子を備えた、明るくコントラストの高い投影型液晶表示装置を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明の液晶表示素子は、液晶層と、第1の基板と、第1の基板とに間に前記

液晶層を挟持して複数の画素領域を形成する第2の基板と、第1または第2の基板の前記画素領域に形成され、第1の基板と第2の基板との対向間隔をDとしたとき、最小幅Sが $2D \tan(\pi/\theta)$ より大きくかつ周期的に配列されたスリットを有する導電体膜からなるストライプ状電極と、前記対向間隔Dを保持するように、第1の基板または第2の基板に形成された柱状スペーサーとを具備したことを特徴とする。

【0018】このスペーサーは光透過性物質からなり、前記ストライプ電極上に形成するようにしてもよい。

【0019】また、前記スペーサーは前記ストライプ状電極上の所定位置に配設するようにしてもよい。

【0020】さらに、前記スペーサーの屈折率は、前記液晶層を構成する液晶組成物の常光屈折率 n_o または異常光屈折率 n_e と実質的に等しく設定するようにしてもよい。すなわち本発明の液晶表示素子は、導電体部と非導電体部とが周期的に配設された画素電極または対向電極により、画素内に方向の異なる複数の電界を形成することにより、臨界的な屈折率を光の透過方向にわたって連続的に異ならせることにより、画素に入射する光の散乱状態を実現するものである。電界が形成されないときには、光は透過して黒表示となる。

【0021】ここで、本発明の液晶表示素子の構造及び原理を図面を参照して以下に詳細に説明する。

【0022】この液晶表示素子は、各画素において実効的に一様な分子配列とすることにより光透過状態を実現し、また、2種以上の電界方向をもって、屈折レンズ効果及び回折格子効果を得ることにより、光散乱状態を実現するものである。

【0023】ここで、屈折レンズ効果とは、液晶層厚方向に液晶分子が連続的に傾きを変え、液晶層の屈折率が連続的に変化することにより入射した光を屈折させる効果をいう。

【0024】また、回折格子効果とは、液晶分子の異常光屈折率 n_e と常光屈折率 n_o とが液晶平面において、規則的に交互に出現することにより、液晶層に回折格子が形成され、その結果平行光を散乱する効果をいう。

【0025】屈折レンズ効果や回折格子効果による光散乱は、2種以上の電界方向の境界部にウォール（壁）状の分子配列を形成することにより得られる。

【0026】図1(a)は、この液晶表示素子の1画素部分の電極構造の1例を概略的に示す図である。図1

(b)は、電圧を印加したときの分子配列構造の一例を概略的に示す図である。

【0027】図1(b)に示した分子配列構造はスプレイ配列であり、なおかつ上下基板表面における液晶分子のプレチルト角が上下でほぼ等しいことを特徴としている。すなわち、上下基板31、32にそれぞれ画素単位で複数のストライプ状の電極33、34を配設し、各電極の導電体部33a、34aと非導電体部33b、34

bを等間隔に1/2ピッチずらして対向させる。上下配向膜35、36の配向方向を同じ方向とし、液晶層40の液晶分子Mをスプレイ配列としている。上下電極33、34に電圧を印加すると、斜め電界 e が発生する。【0028】次に、このようなスプレイ配列に斜め電界を印加したときの液晶分子の挙動を図2(a)乃至(f)により説明する。

【0029】図2(a)乃至(f)は、上下基板31、32の表面の液晶分子の配向方向およびプレチルト角 α が同一で、しかも液晶分子にねじれない状態において、電極形状がそれぞれ異なる場合の分子配列への影響を示すものである。

【0030】図2(a)乃至(c)は電圧無印加時の状態を示し、図2(d)ないし(f)は電圧印加時の状態を示している。

【0031】図2(a)および(d)は上下基板の電極形状が等しく、液晶層厚方向にのみ電界が印加される状態を示している。液晶分子は、液晶層厚 d の中点である位置 d_0 において基板と平行になっており、図2(d)に示すように、電極33、34に電圧 V_0 を印加しても、基板と平行になる位置は変わらない。

【0032】図2(b)は、下基板32の電極34を図中左半分に形成し、右半分は無電極領域とし、上基板31の他方の電極33は図中右半分に形成し、左半分は無電極領域としたもので、相互の電極33、34は無電極領域に対面している。電圧 V_0 を印加すると、電極の相互のずれのために、液晶層の横電界成分をもつ電界が加わり、図2(e)に示すように、分子Mは急峻な右上がりの分子配列になる。一方、図2(c)は下基板32の電極34を図中右半分に形成し、左半分は無電極領域とし、上基板31の他方の電極33は図中左半分に形成し、右半分は無電極領域としたもので、相互の電極33、34は無電極領域に対面している。図2(f)に示すように、電圧 V_0 を印加すると、電極の相互のずれのために、液晶層に横電界成分を持つ電界が加わり、図示の左上がりの矢印 E_L 成分を持つ電気力線 e が発生するため、液晶分子Mの向きは急峻な左上がりの配列になる。すなわち、電圧印加時の液晶分子の配列は横電界成分を持つ斜め電界の形成に依存する。

【0033】こうした分子配列では、電界の印加の仕方により、その分子のチルト方向が図示するように2方向となる。これは、電圧を印加しない状態での液晶分子配列が液晶層の上半分と下半分で対称な配置になることによる。つまり、液晶分子のチルト方向が2以上の自由度を持っていることによる。

【0034】そこで、図1(a)に例示したように、上電極33を複数のストライプ状導電体部33aを非導電体部33bを介して等間隔に配置した電極パターンとし、同様に下電極パターン34を複数のストライプ状導電体部34aを非導電体部34bを介して等間隔に配置

したパターンとして、これら電極を相対向させたときに、一方の電極の導電体部33aまたは34aが他方の電極の非導電体部34bまたは33bに対向するように、基板間に隙隙を形成するように並べる。

【0035】この場合、上下基板の液晶配向方向が同一方向になるように、配向膜にラビング処理を施しておく、この結果、無電圧時は、液晶はスプレイ配列状態を整然と保持するが、電圧印加時には導電体部が上下電極でずれているため、電極間に横電界成分を持つ斜め電界が発生し、図1(b)に示すように交互に傾斜方向を変えた電気力線 e を形成する。

【0036】液晶分子Mは、電気力線に沿って起きあがり配列するので、右上がり斜め電界と左上がり斜め電界との境界で液晶配列が不連続となり、分子のチルト方向の境界部(図中DL)にウォールライン(この実施例では、電界印加時に発生するメモリー性の強い一般的な意味でのディスクリネーションと区別するために「ウォール」と称する。)が発生する。よって、電圧を印加すると図示するように、分子のチルト方向の境界部(図中DL)にウォールラインを発生することができ、入射光を散乱させる機能を得ることができる。

【0037】このように、液晶分子のチルト方向の2以上の自由度を持たせるには、図1(b)の分子配列構造の他、例えば、液晶組成物として負の誘電異方性をもつネマティック液晶組成物を用い、液晶分子配列を上下基板におけるプレチルト角が 90° である完全な垂直配列としても同様の効果を得ることができ、この場合、液晶分子のチルトダウン方向の自由度が2以上となる。

【0038】つまり、液晶分子が電圧を印加していない状態では実効的に一様な分子配列であり、液晶分子のチルトアップ方向、もしくはチルトダウン方向の自由度が2以上である液晶分子配列に対して、斜め電界が微細な領域毎に相反する2方向以上に印加されるように考慮した電極であれば、前述した問題を解決した優れた表示性能を得ることができる。

【0039】具体的に、チルトダウン方向の自由度が2以上ある分子配列としては、スプレイ配列、スプレイツイスト配列、垂直配列等が挙げられる。

【0040】また、電極構造としては、電極の微小領域内に導電体部と非導電体部を形成し、基板間で、液晶層を挟んで相対向する一方の電極の導電体部と他方の電極の非導電体部を対面させた構造であり、分子のチルト方向を著しく異ならせる部分を多数設けるような電極構造であればよい。

【0041】前述のような電極構造を一画面内で多数形成することにより、液晶分子の起きあがり方向が微細に分割されるので、一画面内に多数のウォールラインを発生することができ、この部分で光散乱を起こさせることができる。

【0042】このような原理に基づくLCDは、光を散

乱させる手段として液晶以外の媒体を必要とせず、なおかつ、光透過状態と光散乱状態とで液晶の分子配列が著しく異なることなく、不連続な液晶分子配列を伴わずに実現することができるので、印加電圧が小さく、ヒステリシスのない、きわめて良好な光散乱状態を得ることができる。また、複雑な製造工程によらずにLCD（液晶表示素子）を製造することができる構成でもある。さらに、2方向以上に斜め電界を発生させ、各方向の斜め電界に従い、液晶分子がチルトアップもしくはチルトダウンし、2種以上の電界方向の境界部にウォール（壁）状の分子配列が形成され、周期的な屈折率分布が形成される。液晶分子によって、周期的な屈折率分布を形成することで、屈折効果および回折格子効果により、充分な散乱状態が得られるというものである。

【0043】非偏光を散乱させる場合は、2方向以上で周期的な屈折率分布を形成しなければならない。ここで、各方位に形成する屈折率分布はそれぞれ、同周期で、同じ強度を持つことが望ましい。

【0044】このような周期的な屈折率分布の形成は、斜め電界の角度および強度に大きく依存する。すなわち、斜め電界の角度が小さいと、法線方向の電界成分のみが強くなりすぎ、電極の非導電体部に法線電界に近い電界が印加され、非導電体部の液晶分子は導電体部の液晶分子と同様の变化をし、屈折率がセル内でも均一となり、周期的な屈折率分布が形成されない。

【0045】一方、斜め電界の角度が大きいと、電界成分が横方向成分のみとなり、非導電体部の液晶層の厚み方向に電界が印加されず、液晶分子がほとんど変化しない。したがって、周期的な屈折率分布が形成され、より優れた散乱を得るために、この斜め電界の角度を最適にすることが重要になる。

【0046】ここで、斜め電界を最適に印加するためには、本発明者らの実験によれば、液晶分子のチルト方向が2以上の自由度を持った液晶分子配列を持ち、かつ対向配置された両基板間において、少なくとも1画素毎に画素内の一部領域で前記導電体部と、前記非導電体部が対向しており、かつ前記非導電体部の最も狭い部分の幅をSとし、前記対向配置された両基板間隔をDとしたとき、

$$S/2D \geq \tan(\pi/\theta)$$

の関係が満たされていることが必要条件となることが見出された。前記条件を満たせば、充分な散乱特性をもつ液晶表示素子が得られる。

【0047】また、本発明者らは、種々の実験により、前記条件に加えて以下に示す条件を満たせば諸特性をさらに向上させることが出来ることを見出した。このことについて以下に説明する。

【0048】回折格子の光散乱効果は、 ΔNd に依存し、次式で表される。

$$【0049】T \sim \cos^2((\Delta Nd \cdot \pi)/\lambda)$$

ここで、Tは散乱強度（入射光に対する強度）である。ここで、記号（ \sim ）はほぼ等しいことを示し、 ΔN は屈折率分布の最大値と最小値の差であり、dは液晶層厚を、 λ は入射光の波長である。

【0050】この式から、回折格子の光散乱効果は ΔNd に依存し、 ΔNd に対して極値を持つことがわかる。したがって、 ΔNd の値が著しく大きいと、液晶セルの電気光学特性に極値が生じてしまう。これはアナログ信号を用いた階調表現を困難にってしまう。また、 ΔNd が著しく小さいと、充分な散乱効果が得られない。

【0051】本発明者らは、光散乱効果をより起こしやすい液晶分子配列を見出すため種々の実験を行った結果、液晶分子配列は図3に示す配列が理想的な配列であり、散乱効果が高いことを確認した。

【0052】図3に示す配列は、液晶分子が交互に90°回転した配列を有するもので、液晶分子 M_1 、 M_2 の間は連続的に変化している。この配列の場合、2方向それぞれで屈折率分布が形成され、2方向の屈折率分布は半周期ずれた同じ屈折率分布を有している。2方位に同周期の屈折率分布を持つように液晶分子を配列させれば、屈折効果および回折格子効果により、高い散乱効果を示す。

【0053】この実施例は、斜め電界を用いて液晶分子を図3に示すような配列とすることにより、より散乱効果の高いLCDを得ることを特徴とする。そして、斜め電界の角度や ΔNd 等の適切な値は、電極の導電体部と非導電体部の幅、基板間の液晶層厚等に依存することを見だし、種々の実験研究により最適な範囲を見出した。これらについて以下説明する。

【0054】第1のタイプの液晶表示素子の電極構造は、各画素毎に片側がストライプ状で対向する他の片側が連続電極である。具体的な例として、図4に示す電極構造を挙げる事ができる。1画素の部分を示す図4において、導電体部33aおよび非導電体部33bからなる複数のストライプを形成する電極33が上基板に画素単位で配置されている。この電極33の導電体部33aと非導電体部33bとの幅を比較すると $33a < 33b$ となる構成になっている。下基板に配置されている電極34は全面導電体部となっている。また、導電体部33aは1画素内で相互に電気的に接続されている。

【0055】図5(a)および図5(b)は、電極の配列と液晶分子の関係を示す図であり、液晶表示素子の法線方向での断面形状を見たとき、電極の配列は両基板に導電体部を有する幅EEと非導電体部を有する幅RSが交互に配置される断面形状となっている。

【0056】なお、LCD法線方向での断面形状を見たとき、EE領域とRS領域が交互に配置される断面形状としては、図6および図7に示すような組み合わせなども考えられる。これらの電極構造によっても本発明の効果を得ることができるが、この実施例に使用される第

1のタイプの液晶表示素子は、片側の基板の電極が1画素内において画素毎に導電体部と非導電体部とからなり、他の基板の電極は連続した導電体部からなるものである。

【0057】本発明者らの実験によると、図4および図5に例示した電極構造の場合、

$\tan(\pi/9) \leq RS/2D \leq \tan(7\pi/18)$ の関係を満たされている電極構造とすることに、より優れた特性が得られることがわかった。 $RS/2D$ が $\tan(\pi/9)$ 未満では、法線方向の電界成分のみが強くなりすぎ、電極の非導電体部に法線電界に近い電界が印加され、非導電体部の液晶分子は導電体部の液晶分子と同様の变化をし、屈折率がセル面内で均一となり、周期的な屈折率分布が形成されなくなる。

【0058】一方、 $RS/2D$ が $\tan(7\pi/18)$ を超えると、電界成分が横方向のみとなり、非導電体部の液晶層の厚み方向の液晶分子が殆ど変化しなくなることが実験により確認された。

【0059】また、 $\tan(\pi/6) \leq RS/2D \leq \tan(7\pi/18)$ の範囲、好ましくは $\tan(\pi/6) \leq RS/2D \leq \tan(\pi/3)$ の範囲、より好ましくは $\tan(\pi/4) < RS/2D \leq \tan(7\pi/18)$ の範囲に、さらに好ましくは $\tan(\pi/4) < RS/2D \leq \tan(\pi/3)$ の範囲内において、周期的な屈折率分布が形成され、屈折レンズ効果および回折格子効果による高い散乱効果が得られる。この領域を利用して意図する屈折率分布を容易に実現することができる。

【0060】例えば図8に示すような構成の場合、分子配列が変化しない部分を1画素内に形成することにより、周期的な屈折率分布を実現することができる。

【0061】なお、

$$(RS/2D) > \tan(7\pi/18)$$

の範囲では、必要最小限の斜め電界が得られなくなり、このタイプの液晶表示素子の特徴である屈折レンズ効果および回折格子効果が弱まるため、高い散乱効果が得られにくくなる。

【0062】導電体部の幅EEについては、実験の結果、次のことがわかった。例えば、EEが3Dより大きいと、非導電体部にも法線方向に電界が強くなってしまい、法線電界に近い電界が印加され、導電体部の液晶分子と同様の分子配列となり、屈折率がセル面内で均一となり、周期的な屈折率分布が形成されなくなる。また、EEがD/2より小さければ、液晶分子配列を変化させるだけの充分な斜め電界が印加されなくなってしまう。

【0063】導電体部の幅EEと非導電体部の幅RSとの関係は、液晶組成物が負の誘電率異方性を有する場合は $RS/3 \leq EE \leq 1 \times RS$ であり、正の誘電率異方性を有する場合は $0 \leq EE \leq RS$ である。

【0064】以下にその理由について図9および図10により説明する。

【0065】回折格子効果は、屈折率 n_1 、 n_2 が交互に並んでいる場合に起こる。回折格子効果により散乱状態が最も強くなる n_1 、 n_2 の比は1:1であることが知られている(M. ボルン・E. ウォルフ著: 光学の原理II、637、東海大学出版会、1975)。したがって、回折格子効果を高めるためには、平面的にみて屈折率が大きい部分と小さい部分の幅がほぼ同一になればよい。

【0066】本発明の適用に適した第1のタイプの液晶表示素子として、片側が全面導電体部で、他の片側電極のみが導電体部と非導電体部を形成している電極構造を用い、これに負の誘電率異方性を持つ液晶材料を挟持したときは、図9(c)に示すように、電圧無印加時は屈折率が一様な値 n_1 となる。しかし、電圧印加時はEE部に法線電界がかかり、図10(b)に示すようにRS部に斜め電界がかかる。またEE部は法線電界により液晶分子が一様にチルトダウンするので、ストライプ電極方位の屈折率は一様な値 n_2 となる。

【0067】一方、RS部は、液晶分子が斜め電界の方向にチルトダウンして、屈折率分布は連続的に変化した分布となる。従って、ストライプ電極方位の成分に対する屈折率分布は、図10(c)に示す分布となる。よって、Von時の屈折率が n_2 となる幅 Wn_2 は、EEに等しくなるが、屈折率が n_1 となる幅 Wn_1 は、RSより小さくなる。

【0068】ここで、EE部は一様な屈折率であり、RS部は屈折率が連続変化しているので、EE部とRS部との幅が等しい場合、屈折率分布を平面的に見ると、 $Wn_1 < Wn_2$ となる。よって、 $Wn_1 : Wn_2 = 1 : 1$ とするためには、EE部の幅はRS部の幅より小さくする必要がある。 $Wn_1 : Wn_2 = 1 : 1$ の条件は、最適な構成とする必要十分条件であり、実用上の効果を待る範囲である。つまり、EE部の幅はRS部の幅より小さい場合、斜め電界の強度および角度を調整することによって、 $Wn_1 : Wn_2 = 1 : 1$ の条件を実現することができる。

【0069】製造マージンなどによりEE部の幅がRS部の幅より大きくなった場合でも、回折格子効果が全く現れないわけではなく、実験の結果、RSの1.1倍の幅までは実用上問題のないことがわかった。しかし、RSの幅がより大きすぎると、電界のかからない範囲が生じてしまい、仮に斜め電界を調整しても、RSの領域では n_2 を形成することができなくなる。よって、 $Wn_1 > Wn_2$ となり、回折格子効果が得られなくなってしまう。実験の結果、回折格子効果が得られる下限値は $RS/3 \leq EE$ であることがわかった。

【0070】以上の説明において、ストライプ電極方位の偏光成分に対する屈折率分布の例で説明したが、スト

ライブ電極方位と直交する方位の偏光成分に対する屈折率分布は反転する。

【0071】また、誘電率異方性が正の液晶組成物を用いた場合、EEの部分では法線電界がかかるため、屈折率はどの偏光成分に対しても n_1 となるため、直交するそれぞれの偏光成分の屈折率分布の周期が等しくならない。よって、EEの幅は小さい程よい。従って、誘電率異方性が正の液晶組成物の場合は、 $0 \leq EE \leq RS$ であれば、回折格子効果および屈折レンズ効果は、RSとEEの比には依存しない。このように、液晶組成物の誘電率異方性の相違により、EEの範囲を上述の値とすることにより、最適な斜め電界を印加することができ、良好な回折格子効果を得ることができる。

【0072】以上の関係を満たす値に設定することで、このタイプの液晶表示素子に充分な斜め電界が印加される。

【0073】このような電極構造を有する液晶表示素子における液晶分子の挙動を、図5(a)および図5(b)により説明する。

【0074】図5(a)は電圧無印加時における液晶分子の挙動を概略的に示す平面図であり、図5(b)は電圧印加時における液晶分子の挙動を概略的に示す断面図である。

【0075】なお、上配向膜35および下配向膜36の配向処理は、上基板表面におけるラビング方向が電極と平行な方向になるように施し、その配向方向は上下基板で 180° ずれている垂直配向処理である。その結果、液晶層20の液晶分子Mは、ホメオトロピック配列となっている。

【0076】上電極33および下電極34に電圧を印加すると、図5(b)に示すような斜め方向電界 e が発生する。液晶分子Mは、斜め電界の法線成分によりチルトダウンする。それと同時に、液晶層厚方向に斜め電界の横方向成分の電界が印加されるため、液晶分子は液晶層内方向にツイスト現象を起こす。

【0077】すなわち、液晶分子はツイストしながらチルトダウンし、ストライプ方向に対し斜めに傾いた分子配列となる。両基板ともに導電体部であるEE部は、法線電界がかかり、チルトダウンのみ生じ、ツイスト現象は起こらない。したがって、液晶の配列は図5(b)に示すような形状をなす。

【0078】図5(b)に示す液晶分子の配列は、図5に示した理想的な分子配列に近い配列となっており、高い散乱効果が得られることを実験により確認した。

【0079】次に、本発明に適した第2のタイプの液晶表示素子について説明する。

【0080】本発明の液晶表示素子に適した第2のタイプの液晶表示素子の電極構造は、各画素毎に導電体部と非導電体部とから構成される。具体的な1例としては、図11に示す電極構造を挙げることができる。

【0081】図11は、1画素部分を示したもので、電極構造は上基板および下基板にそれぞれ画素単位で複数のストライプを形成する電極33および34を配置し、各電極の導電体部33aおよび34aの幅と非導電体部33bおよび34bの幅とを比較すると、 $33a < 33b$ 、 $34a < 34b$ である。非導電体部33b、34bの中央に対向させて、それぞれ導電体部34a、33aを配置した構成となっている。

【0082】また、導電体部33aまたは34aは、それぞれ1画素内で電気的に接続されている。

【0083】図12(a)および図12(b)は、電極の配列と液晶分子の関係を示す図である。液晶表示素子の法線方向での断面形状を見たとき、電極の配列は両基板とも非導電体部である領域SSを挟んで1枚の電極付き基板のみに導電体部を有する幅REと他の1枚の電極付き基板のみに導電体部を有する幅FFと交互に配置される断面形状となっている。

【0084】本発明者らはこのような電極構造において、

$\tan(\pi/9) \leq SS/D \leq \tan(7\pi/18)$ の関係を満たすことにより、より優れた特性が得られることを実験の結果見出した。SS/Dが $\tan(\pi/9)$ 未満であると、法線方向の電界成分のみが強くなりすぎ、電極の非導電体部に法線電界にちかい電界が印加され、非導電体部の液晶分子は導電体部の液晶分子と同様の変化をし、周期的な屈折率分布が形成されなくなる。

【0085】一方、SS/Dが $\tan(7\pi/18)$ をこえると、電界成分が横方向のみとなり、非導電体部の液晶層の厚み方向の液晶分子がほとんど変化しなくなることが実験により確認された。

【0086】また、 $\tan(\pi/6) \leq SS/D \leq \tan(7\pi/18)$ の範囲に、好ましくは $\tan(\pi/6) \leq SS/D \leq \tan(\pi/3)$ の範囲に、より好ましくは $\tan(\pi/4) < SS/D \leq \tan(7\pi/18)$ の範囲に、さらに好ましくは $\tan(\pi/4) < SS/D \leq \tan(\pi/3)$ の範囲内において、周期的な屈折率分布が形成され、屈折レンズ効果および回折格子効果による高い散乱効果が得られる。

【0087】この第2のタイプの液晶表示素子において、領域REとFEとの間に両基板とも非導電体部である領域SSが常に含まれているのは、常に横方向の電界を発生しやすくするためである。領域SSの幅が大きくなりすぎると、電界強度が弱まり液晶分子が変化しなくなってしまうため、領域SSの幅は前述の範囲内に設定する。

【0088】また、画素が形成される基板内において領域SSの幅は同じ幅に均一に形成することが望ましい。しかし、液晶表示素子を作製するときに発生するマージン等の問題によりSSの幅にばらつきが生じることが考

えられる。その際には、1画素内の隣り合う導電体部F Eを電気的に一つに接続することなく、異なる電位とすることができる電極構造とすることが好ましい。このような電極構造とすることにより領域SSの幅のずれに応じた電位差を生じさせることができ、電界強度のばらつきを抑えることができる。

【0089】このような構成の液晶表示素子において、上下基板の導電体部の幅を $D/2$ 以上、 $3D$ 以下とすることにより、優れた特性が得られる。

【0090】これは、たとえば、F EまたはR Eが $3D$ を超えると、非導電体部にも法線方向に電界が強くなってしまい、法線電界に近い電界が印加され、導電体部の液晶分子と同様の分子列となり、ウォールが形成されない。

【0091】また、 $D/2$ より小さければ、液晶分子配列を変化させるだけの充分な斜め電界が印加されなくなってしまうことが実験により確認されている。

【0092】以上の関係を満たす値に設定することで、本発明の液晶表示装置に使用される第2のタイプの液晶表示素子に、充分な斜め電界が印加される。

【0093】このような電極構造を有する液晶表示素子における液晶分子の挙動を、図12(a)および図12(b)により説明する。

【0094】図12(a)は電圧無印加時における液晶分子の挙動を示す平面図および断面図であり、図12(b)は電圧印加時における液晶分子の挙動を示す平面図および断面図である。

【0095】なお、上配向膜35および下配向膜36の配向方向は 180° ずれており、液晶層40の液晶分子Mをユニホーム配列としている。

【0096】上下電極33、34に電圧を印加すると、図12(b)に示すような、斜め方向電界 E が発生する。液晶分子は、斜め電界の法線成分により、チルトアップする。それと同時に、液晶層面内方向に斜め電界の横方向成分の電界が印加されるため、液晶分子は液晶層面内方向にツイスト現象を起こす。ここで、液晶分子は初期的に電極方向と平行に配列しており、斜め電界に対して垂直な方向になっている。

【0097】よって、ツイストを得る方向は、右回り、左回り双方が可能である。チルトアップ×(右回りツイストまたは左回りツイスト)となり、結果的には対向する2方位へのチルトアップを得る。つまり、チルト方位の自由度は2となる。即ち、液晶分子はツイストしながらチルトアップし、ストライプ方向に対し斜めに傾いた分子配列となる。

【0098】また、導電体部33a、34aはそれぞれ対向する部分が非導電体部の中央であるため、斜め電界の影響を殆ど受けない。このため、この部分の液晶分子は変化しない。したがって、液晶の配列は、図12

(b)に示すような形状となる。図12(b)に示す液

晶分子の配列は、図5に示した理想的な分子配列に近い配列となっており、2つの偏光方向にほぼ同周期で、同じ強度をもつ屈折率分布が形成されているため、非偏光において高い散乱効果が得られる。

【0099】このように本発明に特に関連したタイプの液晶表示素子は、2つの偏光方向にほぼ同周期で同じ強度をもつ屈折率分布が、より理想的な分子配列に近く形成されるため、既提案の液晶表示素子よりさらに非偏光の散乱効果を高めることができる。

【0100】ところで、回折格子効果は、前述のように屈折率 n_1 、 n_2 が交互に並んでいる場合に起こり、回折格子効果により散乱状態が最も強くなる n_1 、 n_2 の比は1:1であることが知られている。本発明者は、種々の実験により、 $n_1:n_2=1:1$ に最もなりやすい電極構成が、R EまたはF Fの幅とSSの幅が等しい場合であることを確認し、そのR EまたはF Fの幅の許容値を実験により調べた。その結果、R EまたはF Fの幅がSSの幅の0.9倍未満または1.1倍をこえると、 $n_1:n_2=1:1$ が形成できにくくなることが認められた。

【0101】したがって、 $0.9 \times SS \leq RE \leq 1.1 \times SS$ および $0.9 \times SS \leq FF \leq 1.1 \times SS$ に設定することが好ましい。

【0102】しかし、例えば電極間隙等の他のパラメータによっても斜め電界の強度は変化するため、その場合には他のパラメータを最適に設定することにより $n_1:n_2=1:1$ と形成するようにしてもよい。

【0103】なお、本発明の液晶表示装置に使用されるLCDにおいて、屈折率分布の周期は、一部の領域で同一の周期の屈折率分布を得ることが出来ればよく、たとえば周期の異なる屈折率分布が1画素内に存在しても、回折格子効果及び屈折レンズ効果を得ることもできる。

【0104】次に、液晶分子の配列について説明する。

【0105】本発明の基板は斜め電界を用いて液晶分子を図5に示すような配列とすることにより、より散乱効果の高い液晶表示素子に達したものである。

【0106】このタイプの液晶表示素子では、液晶分子が斜め電界によりツイスト現象を起こしながらチルトダウンもしくはチルトアップしている。ユニホーム配列、ホメオトロピック配列に限らず、液晶分子が電圧を印加していない状態で一様な分子配列であり、電圧を印加するとツイスト現象とチルトアップもしくはチルトダウンが同時に生ずるような分子配列、例えばスプレイ配列等でも同様の効果が得られる。

【0107】このタイプの液晶表示素子の分子配列は、理想的には、自由度が2である。ユニホーム配列とホメオトロピック配列を用いることがより望ましい。

【0108】ここで、ユニホーム配列の場合は導電体部と非導電体部からなる電極を持つ、2枚の基板を離れ合わせた電極構成で、ホメオトロピック配列の場合は、電

極全面が導電体の基板と導電体部と非導電体部からなる電極を持つ基板を組み合わせた電極構成であることが望ましい。

【0109】例えば、ユニホーム配列で、電極全面が導電体の基板と導電体部と非導電体部からなる電極を持つ基板を組み合わせた場合は、導電体部で全方位の屈折率が n_1 となるため、各偏光方向において、散乱効果は得られるが、各方位の屈折率分布が異なるため、図10に例示した液晶表示素子よりは散乱効果が低下する。ホメオトロピック配列で導電体部と非導電体部からなる電極を持つ2枚の基板を組み合わせた場合にも、同様のことがいえる。

【0110】したがって、液晶分子配列が、ユニホーム配列の場合には図11に示した電極構成を、ホメオトロピック配列の場合には図6に示した電極構成とすることが望ましい。

【0111】また、前述のように、回折格子の光散乱効果は ΔNd に依存する。ここで、 ΔNd は屈折率分布の最大値と最小値の差であり、液晶組成物の屈折率異方性 $\Delta n (=n_e - n_o)$ に依存し、図5に示すような理想的な分子配列であれば、 Δn と ΔN は等しくなり、 $n_e = n_o$ 、 $n_1 = n_o$ となる。しかし、本発明に適したタイプの液晶表示素子は、チルトアップもしくはチルトダウンしながらツイストするため、 ΔN は Δn の値より小さくなる傾向がある。このため、液晶組成物の Δn の設定は任意の ΔN より大きい値に設定する必要がある。

【0112】このような液晶表示素子における光直進率は、前述した式、 $T \sim \cos^2(\Delta Nd \cdot \pi / \lambda)$ で表されるので、 $\Delta Nd / \lambda = 1/2$ のときが光直進率が0となり、最も大きな回折格子効果が得られる。 $\Delta Nd / \lambda = 1/2$ が実現する Δnd は、種々の Δnd を変化させ、電気光学特性を測定することにより、以下の範囲内に設定すればよいことが実験により確認された。

【0113】可視光全領域400nm~700nmからなる光を入射させる場合、液晶組成物の屈折率異方性 Δn と液晶層厚 d の積が、 $350\text{nm} \leq \Delta nd \leq 1050\text{nm}$ となるような範囲内で設定すればよい。350nmより小さい場合、十分な散乱効果が得られず、1050nmより大きいと電気光学特性に極値を2以上もつことになる。このことは、実験により確認した。

【0114】もしくは、分光特性のバンド幅が100nm以下である単色光を入射させる場合、入射させる単色光の中心波長を λ としたとき、 Δnd は、 $(\lambda - 50) / 2\text{nm} \leq \Delta nd \leq 2(\lambda + 50)\text{nm}$ の範囲内で設定すればよい。

【0115】上述の可視光領域の範囲と同様に、 Δnd の値が大きいと、液晶セルの電気光学特性に極値が複数生じてしまい、また Δnd が上記の範囲より小さいと、散乱効果が低いことが実験により確認された。

【0116】また、このタイプの液晶表示素子の散乱像

は、屈折効果と回折格子効果とを利用しているため、光が一定の角度に回折された点状散乱像となる。例えば、図14に示すLCDの構成の散乱像は、図13(a)および図13(b)に示すように、光源25よりの光はストライプ電極を有するLCD47と直交する方向の直線上に点状散乱が確認できる。図13(a)は電圧無印加時を、図13(b)は電圧印加時をそれぞれ示す。図13(b)に示す散乱像の1次回折角度 θ は次式で表される。

$$[0117] \sin \theta \sim \lambda / P$$

ここで P は、液晶分子により形成された屈折率分布の周期である。このタイプの液晶表示素子において、1次回折角度 θ は1deg以上必要である。1deg以下であると、0次回折光と1次回折光の距離が近くなりすぎ、回折光同士が重なってしまい、充分な散乱効果が得られなくなってしまう。また、1次回折角度は大きいほど散乱角度も大きくなる。回折角を大きくするためには、屈折率分布の周期を小さくすればよい。

【0118】しかし、本発明者らは、屈折率分布の周期は電極の非導電体部と導電体部との和とほぼ等しいことを確認しており、非導電体部と導電体部の幅には前述のような種々の制約があり、あまり幅を狭めることはできない。

【0119】本発明者らは、1次回折角度が10degすなわち非導電体部と導電体部の幅和が $2.5\mu\text{m}$ ($\lambda = 440\text{nm}$) が限界であることを確認した。また、1次回折角度が1degのときは、非導電体部と導電体部の幅の和は、 $36\mu\text{m}$ ($\lambda = 640\text{nm}$) である。

【0120】よって、電極付き基板において、一方の導電体部と非導電体部からなる電極を持つ基板と、他方の電極全面が導電体である基板とを対向させた第1のタイプの液晶表示素子の場合には、 $2.5\mu\text{m} \leq EE + RS \leq 36\mu\text{m}$ の範囲内で設定するようにすればよい。

【0121】導電体部と非導電体部からなる電極を持つ2枚の基板を組み合わせた第2のタイプの液晶表示素子の場合には、

$$2.5\mu\text{m} \leq RE + SS \leq 36\mu\text{m},$$

および

$$2.5\mu\text{m} \leq FE + SS \leq 36\mu\text{m}$$

の範囲内に設定すればよい。

【0122】このような種々の条件を設定することにより、本発明の液晶表示素子では、屈折レンズ効果と回折格子効果により、散乱角度の大きい高い散乱効果を得ることが可能である。また、ランダムに配設されるスペーサーにより散乱効果が低減することもない。

【0123】また、本発明に適したタイプの液晶表示素子をねじれ角0degで作製し、直交した2枚の偏光板間に各ラビング方向と一方の偏光板の吸収軸が平行となるように組み合わせると、散乱光源を用いた場合でも透過型のディスプレイとすることができる。

【0124】この場合、複屈折効果を利用した光学モードとなり、前述した透過率は低下するが、光透過状態を液晶層の光散乱状態によって実現するため、視角依存性が少ないといった効果を得る。特に、階調表示をした際に表示が反転するような現象が生じないため、直視型のディスプレイとして、従来のTN-LCDなどよりも優れた表示特性を得ることができる。

【0125】本発明の液晶表示素子は、光を散乱させる機能を有するので、液晶表示素子を照射する光源は、液晶表示素子の面内に対して垂直な角度を有する平行光であることが望ましい。具体的には、液晶表示素子平面の法線方向となす角度が10deg未満の角度の光を入射することができれば、光源として問題がないことが実験により確認された。光を平行にする手段として、たとえばシュリーレン光学系等が挙げられる。

【0126】図14は、一般に用いられるシュリーレン光学装置の構成図である。シュリーレン光学装置は、反射鏡58およびランプ59から構成される平行光源45と液晶表示素子47、集光レンズ48、不要光を取り除く絞り49、表示画像を拡大投影する投射レンズ50、スクリーン61から構成されている。

【0127】つぎに動作について説明する。光源から平行光束として出射した照明光束は液晶表示素子47に照射される。光源59のランプとしては、たとえばメタルハライドランプ、キセノンランプ等の放電ランプやハロゲンランプ等が反射鏡58と合わせて使用される。液晶表示素子47の面上には画像が表示され、表示画像の濃淡に応じて面内に入射した光束が透過または散乱される。液晶表示素子47の表示面に対して垂直に出射した光束1は、集光レンズ48により絞り49上に集光され、絞り49を透過した後、投射レンズ50に入射する。液晶表示素子48で散乱し、集光レンズ48を透過した光束1は、絞り49により遮断され、投射レンズ50に入射することはできない。すなわち絞り49は不要光（散乱光）を選択的に遮断し、液晶表示素子47からほぼ垂直に出射する光束のみを選択的に投射レンズに送り込むことにより、コントラストを向上させる働きをする。投射レンズ50を透過した光束はスクリーン61上に拡大結像される。

【0128】本発明に適した第1のタイプまたは第2のタイプの液晶表示素子を用いる投影型液晶表示装置について図15および図16により説明する。

【0129】図15に示す投影型液晶表示装置は、光源45よりの光はシュリーレンレンズ46によりほぼ平行光となり本発明の液晶表示素子47と集光レンズ48を経て投射レンズ50によりスクリーン51に投影される構造となっている。液晶表示素子に入射された平行光のうち直進した光のみを投影するために集光レンズ48の焦点の位置に絞り49を設けて液晶表示素子47で散乱させた光を遮断する構成となっている。

【0130】また、図16に示す投影型液晶表示装置は、本発明の液晶表示素子を2枚以上用い、図15で利用した光源と同等の機能を持つRGBの3波長を含む白色光源57を用い、これを任意の波長に分光させる。分光させる手段としては、ダイクロイックミラー、カラーフィルタ等が挙げられる。分光させた光をそれぞれ液晶表示素子47a、47b、47cに入射させている。

【0131】このような構成をとることにより、各波長毎に光路を制御することが可能となる。よって、カラー表示が実現できる。

【0132】本発明に適した液晶表示素子をマトリクス表示に用いた場合、変調部画面面積つまりは開口部の値によっては、全体の透過率が低くなる問題が生じる。とくに投影型液晶表示装置に用いる液晶表示素子は素子の単純化が構成上必要とされる。単純マトリクスの場合は絶縁領域が、またスイッチング素子の場合はスイッチング素子や配線領域を含めて非変調部の占める割合が大きくなる。コントラストを確保するためには、これら非変調部を透光することが望ましいので、これら液晶表示素子は事実上透過率が低くなっていた。

【0133】このような問題は、液晶表示素子の光透過路に光学的に凸レンズと同等の機能を有する層を設けることで解決することができる。そのような例を図17および図18に示す。図17において、入射光側外面後面の基板間に、光学的に凸レンズと同等の機能を有する層60を設け、透光層に進行する光を画素の開口部内変調部に集光させている。また、本発明に適した液晶表示素子において、液晶層に入射して透過する光は基板法線方向に平行な光路をとることが望ましい。よって、図17に示すように、開口部に集光した光の進行方向が基板法線方向とほぼ同一方向となれば、透過率向上とともにコントラストの維持を実現できる。

【0134】こうした作用を得るには、図18に示すように、本発明に適した液晶表示素子の入射光側基板の電極と前述の光学的に凸レンズと同等の機能を有する層との間に、光学的に凸レンズもしくは凹レンズと同等の機能を持つ層60を設ければよい。光学的に凸レンズと同等の機能を持つ層と光学的に凸レンズもしくは凹レンズと同等の機能を持つ層を透過した光は、液晶表示素子面内の法線方向となす角度が、入射光の液晶表示素子面内の法線方向となす角度の0.9ないし1.1倍となるように前述の光学的に凸レンズと同等の機能を制御すれば、液晶層に入射される光は平行度を保つことができ透過率とともにコントラストの維持が実現できる。

【0135】このような構成の液晶表示素子に柱状スペーサを採用することにより、散乱能の低下が抑制されてコントラスト比が向上する。すなわち、静電散布法などによりランダムに配設されたスペーサにより、画素内に方向の異なる複数の電界形成の妨害されることはない。したがって、画素内に屈折率の異なる微小なドメインが周

期的に形成され、良好な光散乱状態が実現される。

【0136】本発明の液晶表示素子において、さらに画素電極、対向電極の厚さを調節するようにしてもよい。画素電極または対向電極により形成される回折格子による光の透過率の低減が防止される。図19は本発明の液晶表示素子の1例を概略的に示す図であり、アレイ基板、対向基板の1部を拡大して模式的に示したものである。

【0137】この液晶表示素子200の対向基板201はアレイ基板202との間に液晶層203を挟持している。対向基板201は透明絶縁性基板204に透明導電性膜205を形成し、さらにこの透明導電性膜205と、透明絶縁性基板204全面を覆うように配向膜206が形成されている。

【0138】図19に例示する液晶表示素子では、ガラスの透明絶縁性基板204上に、ITO (Indium Tin Oxide) からなる透明導電性膜205を形成している。また透明導電性膜205は、ストライプ状のパターンを有するストライプ状電極として形成されている。

【0139】アレイ基板202ではこのストライプ状電極は画素電極であり、それぞれ画素毎に図示しないTFTに接続されている。

【0140】このような周期的に配設された透明導電性膜205を有する液晶表示素子では、屈折率の異なる透明導電性膜205と、液晶層203のストライプ状に形成された透明導電性膜の間に充填される部分とにより回折格子が形成されることになるが、図19に例示した液晶表示素子200では、透明導電性膜205の厚さdを透過光の回折強度を最小化して形成している。

【0141】すなわち入射光の波長 λ 、強度 I_0 とし、透明導電性膜205の厚さをd、屈折率を n_1 、液晶層203の屈折率を n_2 とすると、この回折格子による回折強度Iは、ほぼ

$$I \sim e^{-n^2 \left(\left((n_1 - n_2) \times d \times \pi \right) / \lambda \right)^2} \times I_0$$

となる。したがって、 $\left((n_1 - n_2) \times d \times \pi \right) / \lambda$ を整数となるように透明導電性膜の厚さを調節している。

【0142】もちろん、適当な屈折率を有する透明導電性膜205または液晶層204を適宜選択して用いることにより回折強度を小さくするようにしてもよい。

【0143】またここでは、配向膜206は透明導電性膜よりもずっと薄いために回折への寄与は非常に小さい。

【0144】透明導電性膜、液晶層以外にも入射光の回折に寄与する物質がある場合には、その物質の厚さ、屈折率もあわせて調節するようにしてもよい。

【0145】すなわち入射光の波長を λ とし、透明導電性膜が形成されたA領域210におけるリタデーション

R_i を $\sum (n_i \times d_i)$ 、($i=1, 2, \dots, k$)、また透明導電性膜が形成されておらず液晶層が満たされたB領域211におけるリタデーション R_j を $\sum (n_j \times d_j)$ 、($j=1, 2, \dots, l$)とすると、このましくは、

$$0.8 \times \lambda \leq |R_i - R_j| \leq 1.2 \times \lambda$$

となるように、より好ましくは、

$$|R_i - R_j| = \lambda$$

となるように、すなわちA領域とB領域とからなる回折格子を透過する入射光のリタデーションがほぼ等しくなるように、入射光の波長に合わせて回折に寄与する物質の屈折率または厚さを調節するようにすればよい。例えば配向膜によるリタデーションなども考慮するような場合にも同様に適用することができる。ここで、 $0.8 \times \lambda \leq |R_i - R_j| \leq 1.2 \times \lambda$ の範囲は20%の許容差を設定したものである。

【0146】本発明の液晶表示素子は、柱状スペーサとともに厚さまたは屈折率を調節して配設された透明導電性膜を備えることにより、光透過時には、透明導電性膜を周期的なパターンに形成した場合でも回折により透過率が低下することなく、また、光散乱時には屈折率の異なる微小なドメインがより良好に画素内に形成されるから、明るくコントラストの高い、表示品質の優れた液晶表示素子となる。

【0147】図20は画素ごとにストライプ状電極の厚さを変えて配設した液晶表示素子の構造の1例を模式的に示す図である。

【0148】図20に例示した液晶表示素子2400は、前述のような柱状スペーサ2460を備えるとともに、カラーフィルタ2401を用いて、1つの画素領域に赤、緑、青の各色が透過する赤色透過領域2402a、緑色透過領域2402b、青色透過領域2402cを形成し、アレイ基板2403、対向基板2404の液晶層を挟持する側面の、各色の透過領域に対応する領域に、それぞれ透明導電性膜からなるストライプ状電極2405a、2405b、2405cを形成した。各色透過領域に配設されたストライプ状電極2405は、各領域を透過する光の波長 λ_i に応じて最適化して形成した。すなわち、赤色透過領域2402aではストライプ状電極の膜厚を1.28 μm に設定し、緑色透過領域2402bではストライプ状電極の膜厚を1.1 μm に、また青色透過領域2402cではストライプ状電極の膜厚を0.88 μm に設定した。なお、柱状スペーサ2450は、斜め境界により屈折率の異なる微小なドメインが画素内に形成されるのを妨げないように配設するようにすればよい。

【0149】各ストライプ状電極2405の上側から、図示を省略した配向膜が、アレイ基板2403および対向基板2404上に形成されている。

【0150】したがって、各色透過領域2402では、

ストライプ状電極による透過光の回折強度が最小化され、明るく、コントラストの高い液晶表示素子となる。

【0151】こうして得られた液晶表示素子2400に平行光を入射し、直進した光のみを拡大投影したところ、明るく色むらのない表示が得られた。

【0152】カラーフィルタのかわりにマイクロレンズアレイを用いてカラー表示を行う場合にも全く同様である。また、RGBのかわりに、1つの画素領域にシア、マゼンタ、イエローの各色が透過する領域を形成し、各色の透過領域にそれぞれ透明導電性膜からなるストライプ状電極を形成するようにしてもよい。

【0153】この場合各色透過領域に配設されたストライプ状電極は、その膜層を透過する最も強い光の波長λ₁に応じて最適化して形成するようにしてもよい。

【0154】

【発明の実施の形態】図21は本発明の液晶表示素子の画素構造を概略的に示す図である。

【0165】本発明の液晶表示素子は、液晶層を挟持して画素10を形成する1対の画素電極14と対向電極13の少なくとも一方の電極として、周期的に配設された導電体からなる電極を備えている。図1の例では画素電極14、対向電極13とともに導電体部とスリット状の非導電体部とがストライプ状に配設された構造を有している。例えば対向電極13は、導電体部13aとスリット状の非導電体部13bとにより構成されている。画素電極14についても同様である。

【0156】すなわち本発明の液晶表示素子は、導電体部と非導電体部とが交互に形成されたストライプ状の画素電極14と対向電極13とを備えており、これら電極により画素内に複数の方向の異なる複数の電界を形成することにより、屈折率の異なる微小領域を周期的に分布させて、光の透過、散乱状態を制御するものである。

【0157】図22は本発明の液晶表示素子の電圧無印加時(a)と電圧印加時(b)の画素の状態を模式的に示す図である。電圧印加時には図22(b)に例示するように上下基板間に方向の異なる複数の斜め電界が形成され、画素に入射する光は散乱される。

【0158】そして、本発明の液晶表示素子においては、液晶層の厚さに対応する第1の基板と第2の基板との間隙は、静電分布などによりランダムに散布されるスペーサではなく、周期的な屈折率分布の形成を阻害しないような領域に配設された柱状のスペーサ1により保持されている。この柱状スペーサ1は画素電極上に限らず、例えば走査線、信号線、補助容量線(Cs線)上などに配設するようにしてもよい。また、これ以外にも周期的な屈折率分布の形成を妨げないような位置に配設するようにしてもよい。

【0159】また配設する柱状スペーサ1として透光性を有する材料を用いることが好適である。さらにまた、

配設する柱状スペーサ1として透光性を有するとともに、挟持する液晶層と屈折率のほぼ等しい材料を用いることがさらに好適であり、液晶層と柱状スペーサ1との屈折率の相違に起因する透過率の低下を大きく抑制することができる。

【0160】柱状スペーサ1の形状は、角柱形状に限ることはなく、断面が円形でもよいし楕円形でもよい。また画素内に配設する柱状スペーサ1の本数についても2本に限ることはなく、基板間隔が確保できるように必要に応じて備えるようにすればよい。つぎに、このような柱状のスペーサ1を備えた本発明の液晶表示素子の製造方法の1例について説明する。

【0161】まず、ガラスなどの透明絶縁性材料からなる対向基板11の液晶層を挟持する側の全面に例えばITO(Indium Tin Oxide)でできた透明共通電極13を形成し、その上側からポリイミドなどからなる上配向膜15(AL-3046、日本合成ゴム製)を積層する。

【0162】液晶層を挟持するもう一方の基板も、例えばガラスなどの透明絶縁性材料からなり、例えばITOからなる画素電極およびこの画素電極を駆動するための走査線、信号線、薄膜トランジスタなどのスイッチング素子を形成し、その表面に下配向膜16(AL-3046、日本合成ゴム製)を積層する。

【0163】この例では、1画素の大きさが96μm×96μmである画素電極14が画素単位でモザイク状に配置されている。上下配向膜15、16のプレチルト角は3°である。

【0164】対向電極13は1画素毎に幅16μmの複数のスリット13bを有し、幅8μmの導電体部13aを24μmピッチでストライプ状に配列したパターンであり、1画素の96μm幅の中に4本の導電体部13aが形成されている。

【0165】相対する画素電極14も同様の構成を有している。すなわち8μmの導電体部14aと、16μm幅の非導電体部14bを配置したパターンを有し、96μm幅内に4本の導電体部14aが形成されている。

【0166】これら画素電極または対向電極の導電体部は、上下基板を相対させた状態で相互に12μmずつずらせてあり、一方の電極の導電体部13aまたは14aが他方の電極の非導電体部14bまたは13bの中央に対面するように配設される。画素電極14は例えば薄膜トランジスタなどの非線形スイッチング素子を有し、このスイッチング素子は走査線23と信号線24とに接続されている。すなわち、走査線に印加する信号電圧により薄膜トランジスタのゲートのオン・オフが制御され、オン状態のとき信号線に印加された信号電圧が画素に書き込まれることになる。

【0167】上記配向膜15、16の配向方向F、Rは図示のように電極の導電体部に平行するように、かつ1

80°異なる方向となるように設定する。また上下基板の間隙を5 μm とし液晶セルを形成する。この基板間に誘電率異方性が負であるネマティック液晶(E320、メルクジャパン製)を充填し、液晶層20とする。この液晶は複屈折率(Δn)が0.143、 Δnd は715 nmである。

【0168】ここで、アレイ基板または対向基板の感光性透明層に膜層を塗布または転写法で形成し、次に露光、現像により図1に図示するごとく、柱状スペーサ1を形成した。スペーサ1の高さは5 μm に設定した。

【0169】またこのスペーサ1は対向基板の上に印刷、あるいはフォトリソグラフィ法などにより形成するようにしてもよい。

【0170】なお、このスペーサ1の屈折率は1.5であり、液晶層の常光屈折率(または異常光屈折率)とほぼ一致するように設定した。

【0171】このようにして得られた本発明の液晶表示素子に、スイッチング素子であるTFT19を介して表示信号を印加して電気光学特性(透過率-印加電圧曲線)を測定した。電圧印加により電極間に横電界成分をもつ電界が形成され、1画素内の微小な範囲で横電界成分の方向が変化するから、液晶層20の液晶分子Mが電界に応じてその配列を変化する。したがって、画素内に屈折率の異なる微小な部分が分布することになる(図2参照)。

【0172】図23は本発明の液晶表示素子の透過率-印加電圧特性を示す図である。透過率-印加電圧曲線を求めるために、本発明の液晶表示素子にHe-Neレーザ光($\lambda=550\text{nm}$)を入射させて透過率を測定した。なお照射光のスポット径は1mmで、透過したレーザ光は液晶表示素子から20cmのところに配置したフォトダイオードにより検出した。また印加電圧は0Vから徐々に5Vまで増加させ、その後5Vから0Vまで減少させた。

【0173】電圧を印加していない状態では、画素内の光の透過率は85%と明るい透過率特性を示した。また、電圧2.8Vで最小透過率0.4%と良好な散乱特性が得られた。電気光学特性にヒステリシスは全く見出されなかった。印加電圧2.8Vおよび0Vにて応答速度を測定したところ、立ち上がり20ms、立ち下がり20msと極めて早い応答速度であった。

【0174】このように本発明の液晶表示素子は、スペーサ1による画素内の電界形成の妨害を最小限に抑制しているため、画素に入射した光はより効率的に散乱される。したがって、より高いコントラスト比を得ることができ、表示品質を向上することができる。

【0175】(比較例1)比較例として、柱状スペーサ1を設ける代わりに直径5 μm の球状スペーサ90を静電散布法で散布した以外は実施例1と同様の液晶表示素子を作成した。図24はこの液晶表示素子の透過率-印

加電圧特性を示す図である。透過率-印加電圧曲線は実施例1と同様の方法で測定した。最小透過率は5%であり、実施例1と比較して高い値であった。これは、基板上にランダムに配設された球状スペーサにより画素内の電界が妨げられ、回折効果が低下してしまったためである。

【0176】本発明の液晶表示素子の画素を構成する電極は、例えば図1、図4、図11、図21に例示したような画素電極14、対向電極13に限ることはなく、種々変形して用いることができる。図25~図32は、本発明の液晶表示素子を構成する電極の例を示す図である。柱状スペーサはいずれの電極を用いる場合であっても、前述のように、方向の異なる複数の電界が画素内に形成されるを妨げないような位置に配設するようにすればよい。

【0177】

【発明の効果】本発明の液晶表示素子は、画素の一部領域で、画素電極の導電体部と非導電体部とを対向させ、一様な分子配列を形成することにより光透過状態を実現し、複数の異なる方向の斜め電界を形成することにより屈折レンズ効果や回折格子効果などにより光散乱状態を実現することができる。

【0178】本発明の液晶表示素子は駆動電圧が低く、明るくコントラスト比の高い、階調性に優れたものであり、階調表示しても表示が反転しない広い視角特性を有する。また、導電体部、非導電体部の幅、液晶層の厚さ、 Δn などを調節することによりさらに優れた特性を得ることができる。

【0179】また、柱状スペーサを周期的な屈折率分布の形成に関与しない位置に選択配置し、かつ透明な物質で形成することにより、より高い回折効果を得ることができる。

【0180】また、スペーサを周期的な屈折率分布の形成に影響を与えない位置に選択的に配置し、かつ透明な物質で形成することにより、より優れた特性を得ることができる。

【0181】なお、本発明以上の説明においては、柱状スペーサは画素電極上に形成して例について説明したが、画素電極状に限らず、例えば走査線、信号線上の周期的な屈折率分布の形成に影響を与えない位置に選択的に配置するようにしても同様の効果を得ることができる。

【0182】また、本発明の液晶表示素子は特に投影型液晶表示装置に適用することにより、コントラスト比が高く、また極めて明るい表示を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用する液晶表示素子を説明する図で、(a)は液晶を挟んで対向するストライプ状電極を示す斜視図であり、(b)は電圧印加時の液晶表示素子の断面図。

【図2】スプレイ配列の液晶分子の振る舞いを模式的に示す図であり、(a)～(c)は電圧無印加時を、(d)～(f)は電圧印加時を示す図。

【図3】理想的な液晶分子配列の1例を模式的に示す図。

【図4】液晶表示素子の液晶を挟んで対向するストライプ状電極を示す斜視図。

【図5】本発明を適用する液晶表示素子を模式的に説明する図で、(a)は電圧無印加時の液晶表示素子の平面と断面を示す図、(b)は電圧印加時の液晶表示素子の平面と断面を示す図。

【図6】EE領域とRS領域とが交互に配置された液晶表示素子の断面を模式的に示す図。

【図7】EE領域とRS領域とが交互に配置された液晶表示素子の他の1例の断面を模式的に示す図。

【図8】液晶分子配列を模式的に示す図。

【図9】電圧無印加時のEE領域とRS領域との関係を模式的に示す図。

【図10】電圧印加時のEE領域とRS領域との関係を模式的に示す図。

【図11】本発明を適用する液晶表示素子の液晶を挟んで対向するストライプ状電極を示す斜視図。

【図12】本発明を適用する液晶表示素子を模式的に説明する図であり、(a)は電圧無印加時の液晶表示素子の平面と断面を示す図、(b)は電圧印加時の液晶表示素子の平面と断面を示す図。

【図13】第2のタイプの液晶表示素子の散乱像を模式的に示す図。

【図14】シュリーレン光学装置の構成を示す図。

【図15】本発明を適用することができる投影型液晶表示装置の構成の1例を模式的に示す図。

【図16】本発明を適用することができる投影型液晶表示装置の構成の別の1例を模式的に示す図。

【図17】液晶表示素子とマイクロレンズとの配置の1例を模式的に示す断面図。

【図18】液晶表示素子とマイクロレンズとの配置の別の例を模式的に示す断面図。

【図19】本発明を適用することができる液晶表示装置の構成の別の1例を模式的に示す図。

【図20】本発明を適用することができる液晶表示装置の構成の別の1例を模式的に示す図。

【図21】本発明の液晶表示素子の画素構造の1例を模式的に示す斜視図。

【図22】本発明の液晶表示素子の電圧無印加時(a)と電圧印加時(b)の画素の状態を模式的に示す図。

【図23】本発明の液晶表示素子の透過率一印加電圧特性を示す図。

【図24】スペーサをランダムに配設した場合の透過率一印加電圧特性を示す図。

【図25】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図26】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図27】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図28】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図29】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図30】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図31】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図32】本発明の液晶表示素子の画素電極の別の1例を模式的に示す図。

【図33】従来の液晶表示素子の画素構造を模式的に示す図。

【符号の説明】

1……柱状スペーサ

11……対向基板(上基板)、12……アレイ基板(下基板)

13……対向電極(上電極)、13a……導電体部、13b……非導電体部

14……画素電極(下電極)、14a……導電体部、14b……非導電体部

15……上配向膜、16……下配向膜

19……スイッチング素子、20……液晶層、23……ゲート線

24……信号線

31……上基板、32……下基板、33……上電極、33a……上電極導電部

33b……上電極非導電部、34……下電極、34a……下電極導電部

34b……下電極非導電部、35……上配向膜、36……下配向膜

39……スイッチング素子、40……液晶層、43……ゲート線

44……信号線、45……光源、46……シュリーレンレンズ

47……液晶表示素子、48……集光レンズ、49……絞り

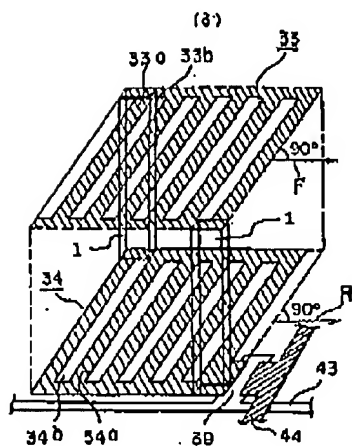
50……投射レンズ、51……スクリーン、52……駆動装置

53……映像信号出力装置、54、55……ダイクロイックミラー

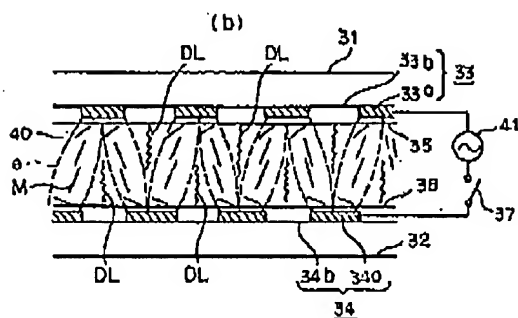
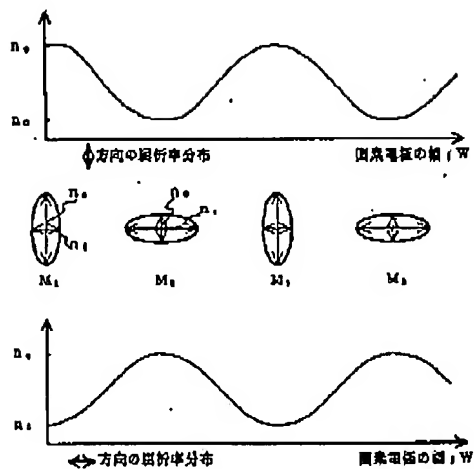
56……全反射ミラー、57……白色光源

90……球状スペーサ

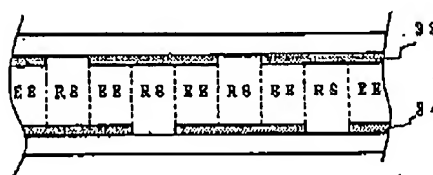
【図1】



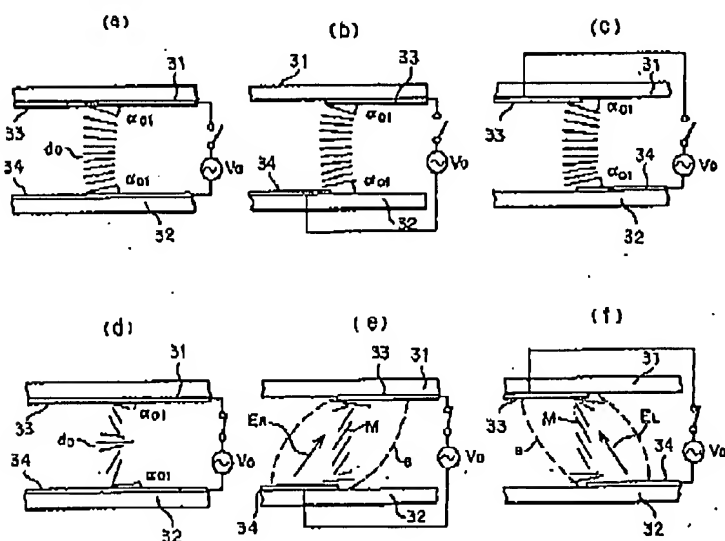
【図3】



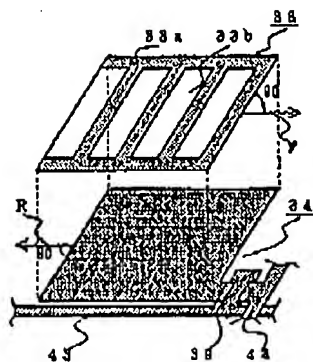
【図6】



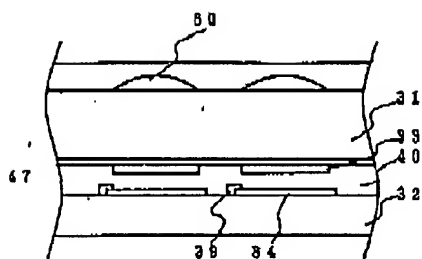
【図2】



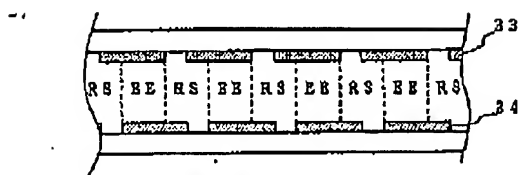
【圖 4】



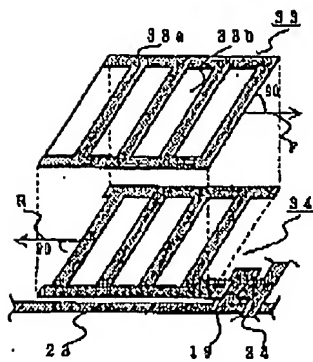
【圖 17】



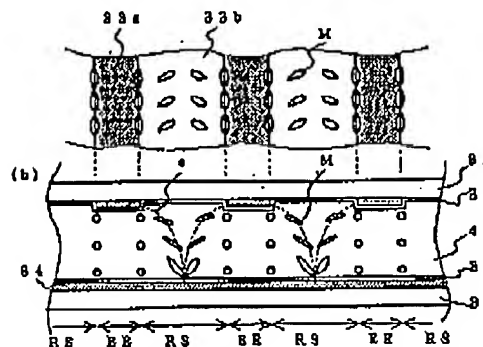
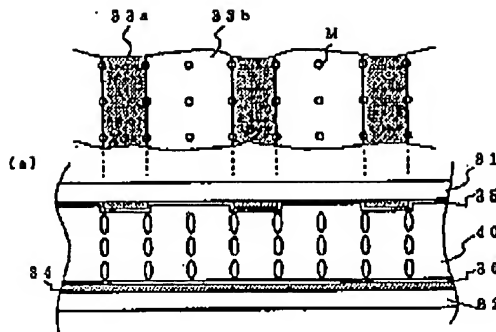
【圖 7】



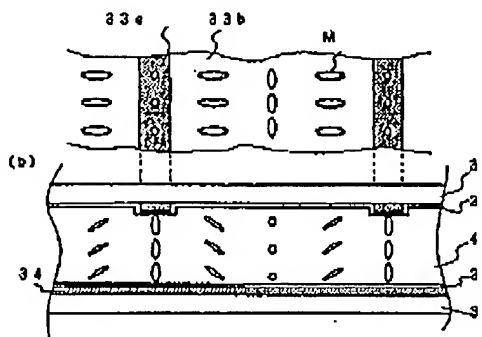
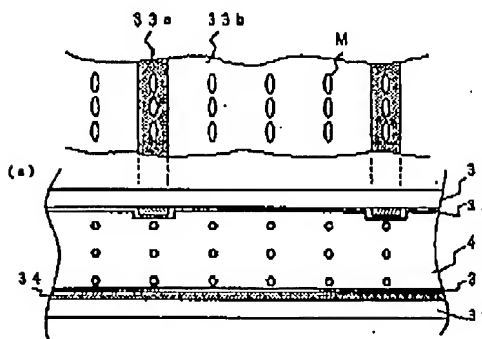
【圖 11】



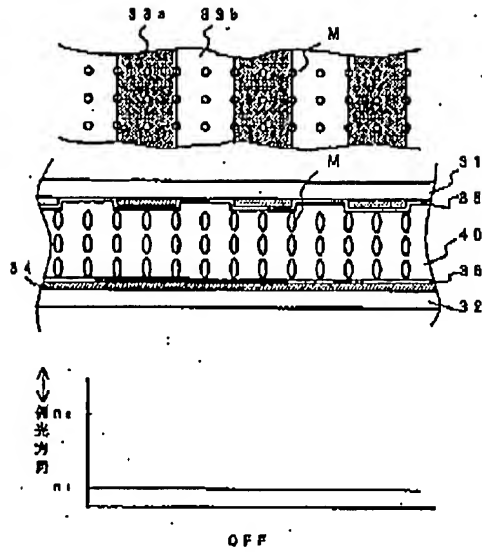
【圖 5】



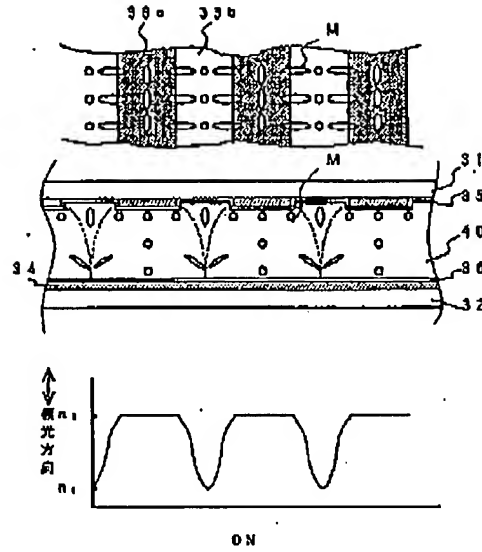
【圖 8】



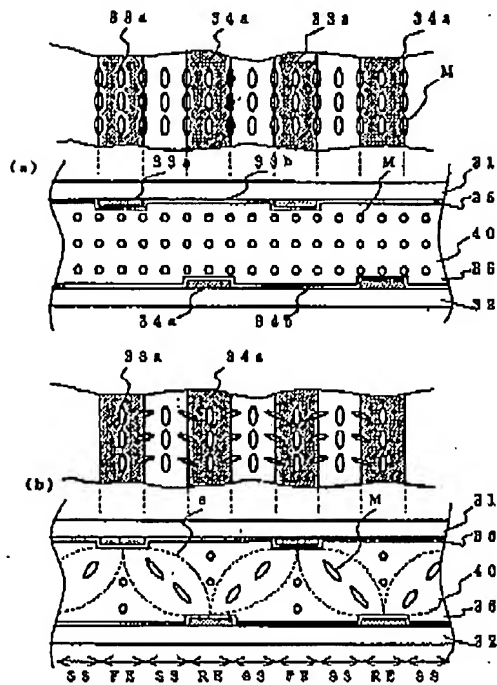
【图9】



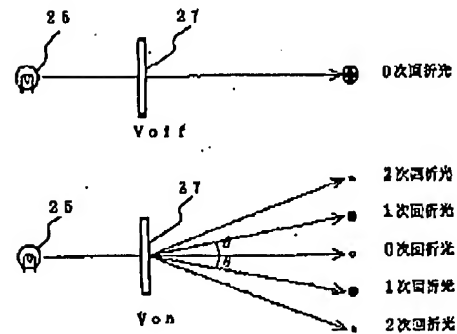
【图10】



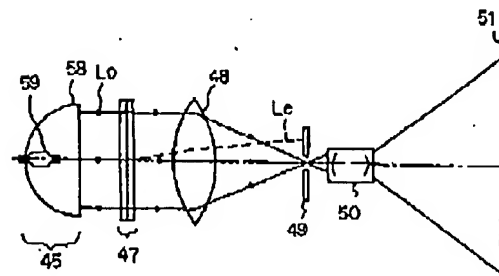
【图12】



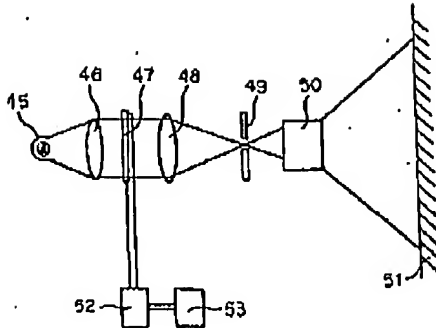
【图13】



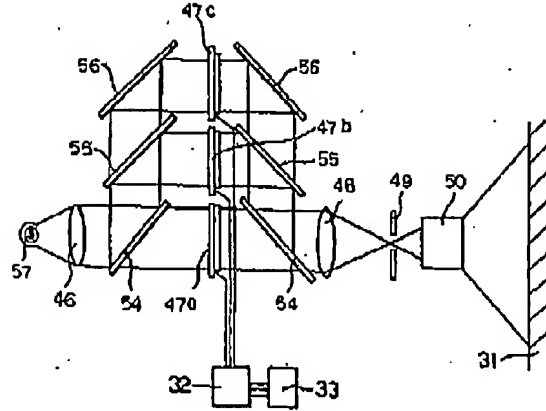
【图14】



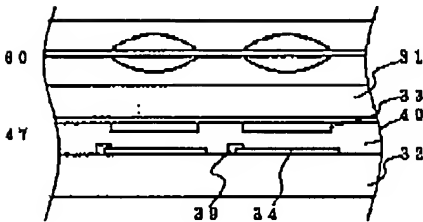
【圖 16】



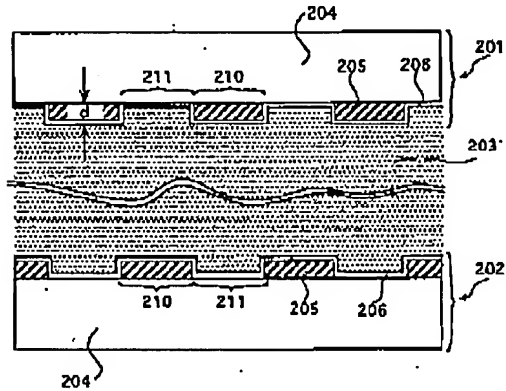
【圖 16】



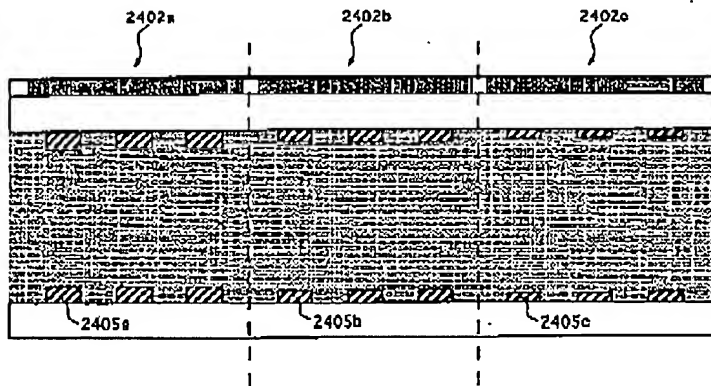
【圖 18】



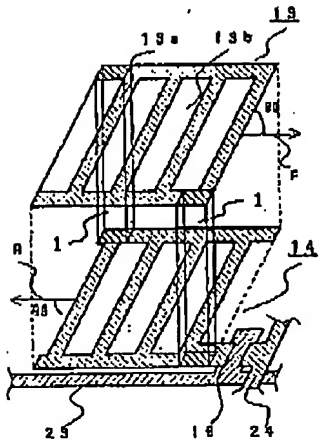
【圖 19】



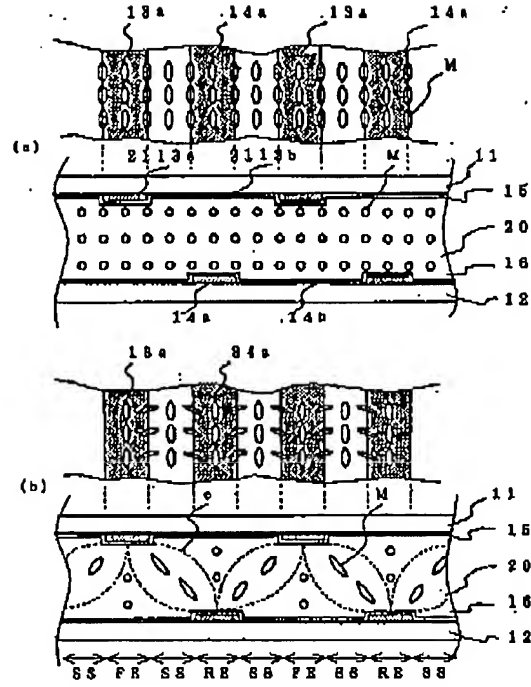
【圖 20】



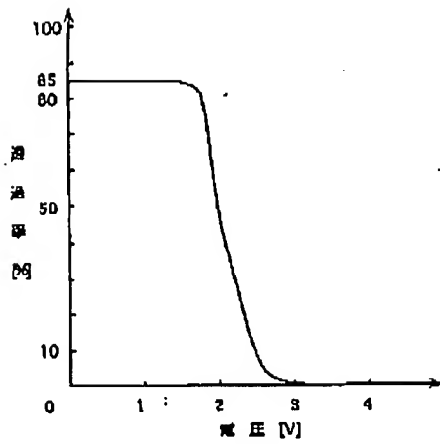
【圖 21】



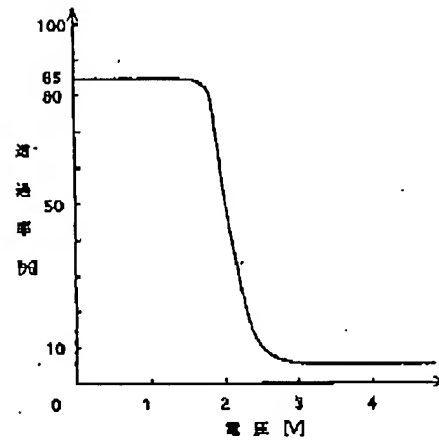
【圖 22】



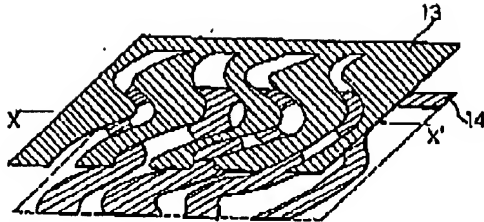
【圖 23】



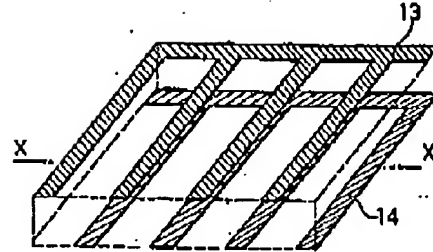
【圖 24】



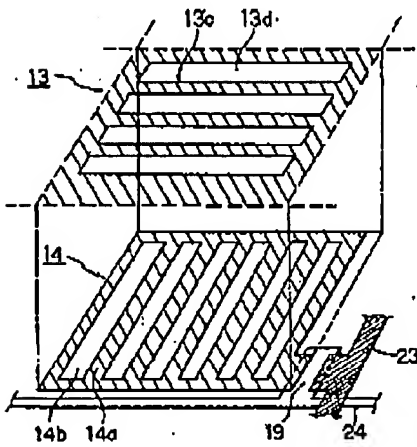
【圖 25】



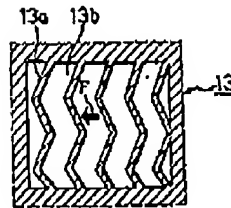
【圖 26】



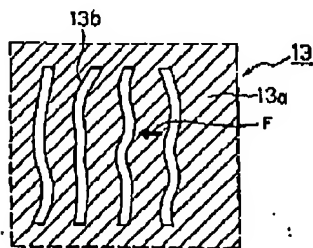
【圖 27】



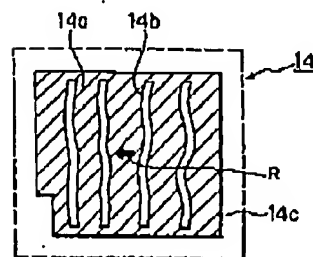
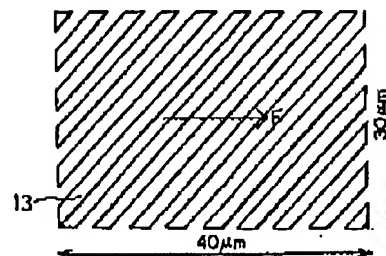
【圖 28】



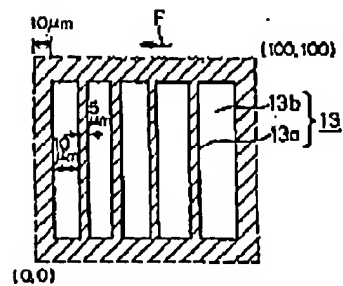
【圖 29】



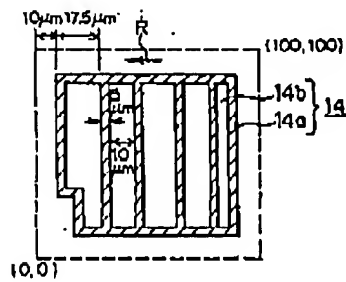
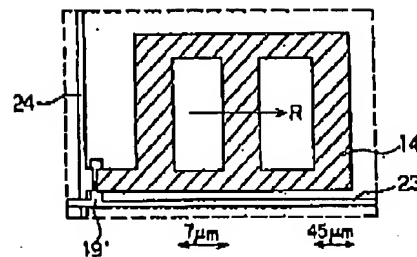
【圖 31】



【圖 30】



【圖 32】



【圖 33】

